

⑭

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

⑮ Date de dépôt : 24.09.01.

⑯ Priorité :

⑰ Demandeur(s) : GEMPLUS Société anonyme — FR.

⑱ Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 28.03.03 Bulletin 03/13.

⑲ Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du  
présent fascicule*

⑳ Inventeur(s) : JOYE MARC, NACCACHÉ DAVID et  
PORTE STEPHANIE.

㉑ Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

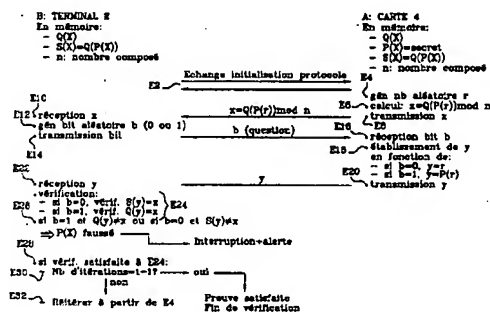
㉒ Titulaire(s) :

㉓ Mandataire(s) : CABINET BALLOT.

㉔ PROCÉDE ET DISPOSITIF DE LA VERIFICATION DE LA DETENTION D'UNE DONNEE CONFIDENTIELLE  
SANS COMMUNICATION DE CELLE-CI, SELON UN PROCESSUS DIT DE "A DIVULGATION NULLE".

㉕ L'invention permet de procéder à une vérification, par  
un vérificateur (A, 2), de la détention d'au moins une donnée  
confidentielle (P (X); P<sub>1</sub> (X)... P<sub>i</sub> (X)) par un détenteur pré-  
sumé (B, 4), sans communication par ce dernier de la donnée  
confidentielle, conformément à un processus dit de "à divul-  
gation nulle".

A cette fin, il est prévu d'utiliser pour la donnée confiden-  
tielle au moins un premier polynôme (P (X)), le détenteur  
préssumé (B, 4) transmettant au vérificateur (A, 2) des don-  
nées (x, y) calculées en utilisant ce polynôme, la vérification  
étant établie sur la base d'une analyse de ces données met-  
tant en oeuvre au moins un deuxième polynôme (Q (X)) et  
d'un polynôme composé Q (P (X)).



**Procédé et dispositif de la vérification de la  
détention d'une donnée confidentielle sans  
communication de celle-ci, selon un processus dit de "à  
divulgation nulle".**

L'invention concerne la sécurisation électronique par code secret, par exemple pour des protocoles d'identification. Dans ce cadre, le code secret est typiquement attribué à une entité, désignée ci-après  
5 "détenteur", en tant que clé d'accès à une prestation d'un fournisseur. Cette clé est soumise à une vérification par un système de sécurisation lié au fournisseur, qui conditionne l'accès à la prestation. Le processus de demande d'autorisation s'effectue par  
10 échange électronique entre le détenteur présumé et le fournisseur.

La figure 1 illustre très schématiquement le cas général d'un ensemble composé d'une part d'un système de vérification (vérificateur) 2 et d'autre part d'un  
15 détenteur présumé 4. Le système 2 et le détenteur présumé communiquent sur une liaison 6 qui peut être locale ou distante (par réseau), filaire, radioélectrique, infrarouge, etc. Dans l'exemple, le détenteur présumé 4 se trouve être matérialisé par une  
20 carte à puce, le système de vérification 2 étant un terminal avec lecteur de carte. Le code secret (désigné par le terme "secret" dans ce qui suit) est alors contenu au sein d'une mémoire de la carte 2. La vérification de la validité du secret nécessite un  
25 échange de messages sur la liaison 6 selon un protocole préétabli. La vérification peut conditionner l'accès à un service (téléphonique, de réception de télévision à péage, de transaction bancaire ou commerciale), ou à contrôler l'accès à un site, la transmission d'un  
30 dossier médical, l'identification d'une personne, etc.

Dans une mise en œuvre classique, le protocole prévoit la transmission du secret vers le terminal, éventuellement sous forme cryptée pour éviter des attaques durant l'échange.

5       Cependant, il existe aussi des protocoles dits de "à divulgation nulle" (de l'anglais "zero knowledge"), basés sur le fait qu'il est mathématiquement possible à un détenteur présumé de prouver qu'il possède effectivement un secret valable sans pour autant le  
10       communiquer au système de vérification. Il s'agit de protocoles de preuve de détection de secret sans divulgation ou de protocoles à divulgation nulle. Les protocoles Fiat-Shamir, Guillou-Quisquatter, "syndrome decoding", "permuted kernels problem", "constrained  
15       linear equations", etc. sont des exemples de tels protocoles de à divulgation nulle. Le principe repose sur un échange de questions et de réponses, provenant respectivement du système de sécurisation 2 et du détenteur présumé 4. Le protocole d'identification est  
20       de nature asymétrique, en ce sens qu'il fait appel à des clés privées et publiques, la clé privée constituant le secret détenu au niveau du détenteur présumé. Puisque le secret n'est jamais révélé durant le protocole, il n'y a pas de risque qu'il soit  
25       approprié par un détenteur présumé mal intentionné, ou une personne interceptant les messages échangés en vue de pouvoir se présenter comme le détenteur agréé du secret.

Si ces protocoles permettent une sélection de  
30       paramétrage, leur conception demeure relativement figée. Ceci est notamment le cas avec le protocole de Fiat et Shamir.

Ainsi, un objet de l'invention est de prévoir une sécurisation par vérification basée sur un nouveau  
35       protocole de à divulgation nulle, permettant de

nombreuses possibilités de mise en oeuvre selon les applications envisagées.

Plus particulièrement, l'invention propose, selon un premier objet, un procédé de vérification, par un vérificateur, de la détention d'au moins une donnée confidentielle  $P(X)$ ;  $P_1(X)$ ...  $P_t(X)$  par un détenteur présumé, sans communication par ce dernier de la donnée confidentielle, conformément à un processus dit de "à divulgation nulle",

caractérisé en ce que l'on utilise pour la donnée confidentielle au moins un premier polynôme  $P(X)$ , le détenteur présumé transmettant au vérificateur des données calculées en utilisant ce polynôme, la vérification étant établie sur la base d'une analyse de ces données mettant en œuvre au moins un deuxième polynôme  $Q(X)$  et d'un polynôme composé  $S(X) = Q(P(X))$ , celui-ci étant composé du premier polynôme  $P(X)$  et du deuxième polynôme  $Q(X)$ .

Avantageusement, à partir :

- du premier polynôme, soit  $P(X)$  d'une variable  $X$ , et
- du deuxième polynôme, soit  $Q(X)$  de la variable  $X$ ,

on définit un troisième polynôme composé  $S(X) = Q(P(X))$ ,

et on met en œuvre au moins une séquence comprenant les étapes de :

a) transmission, du détenteur présumé au vérificateur, d'une première donnée  $(x)$  obtenue à partir du troisième polynôme  $S(X)$  pour le cas de la variable  $X = r$ , soit  $Q(P(r))$ , où  $r$  est un nombre choisi arbitrairement par le détenteur présumé ;

b) transmission en réponse, du vérificateur au détenteur présumé, d'une valeur d'invitation de preuve  $(b)$ ,

c) transmission, du détenteur présumé au vérificateur, d'une deuxième donnée (y) calculée selon  $y = r$  si la valeur d'invitation de preuve b correspond à une première valeur et selon  $y = P(r)$  si la valeur d'invitation de preuve correspond à une seconde valeur, et

d) vérification, par le vérificateur, que la condition  $S(y) = x$  est satisfaite si la valeur d'invitation de preuve correspond à la première valeur, et que la condition  $Q(y) = x$  est satisfaite si la valeur d'invitation de preuve correspond à la seconde valeur, une vérification positive à l'étape d) accroissant le degré de confiance en la détention effective de la donnée secrète  $P(X)$  par le détenteur présumé.

Le procédé peut être mis en œuvre pour une vérification portant sur une pluralité  $t$  de données confidentielles indépendantes, chacune définie par un premier polynôme respectif, où, à partir :

- des premiers polynômes respectifs, soit  $P_1(X)$ ,  $P_2(X)$ ,  $P_3(X)$ , ...,  $P_t(X)$  d'une variable  $X$ , et
- du deuxième polynôme, soit  $Q(X)$  de la variable  $X$ ,

on définit un troisième ensemble de fonctions  $S_i(X)$  pour  $i = 0$  à  $t$ , soit :  $S_0 = Q(X)$ ,  $S_1(X) = Q(P_1(X))$ ,  $S_2(X) = Q(P_1(P_2(X)))$ ,  $S_3(X) = Q(P_1(P_2(P_3(X))))$ , ...,  $S_t(X) = Q(P_1(P_2(P_3(...P_t(X))))$ ,

et on met en œuvre au moins une séquence comprenant les étapes de :

- i) transmission, du détenteur présumé au vérificateur, d'une première donnée (x) obtenue à partir de la fonction  $S_t(X)$  pour le cas de la variable  $X = r$ , soit  $x = Q(P_1(P_2(P_3(...P_t(r))))$ , où  $r$  est une valeur aléatoire générée au niveau du détenteur présumé;

- ii) transmission, du vérificateur au détenteur, présumé d'une désignation arbitraire ou pas d'une ou plusieurs fonction(s) parmi un ensemble de fonctions  $E_i$  de variable  $X$ , soit :

5                    fonction  $E_0$  :  $P_1(P_2(P_3(\dots(P_t(X))\dots))$ ,  
                     fonction  $E_1$  :  $P_2(P_3(\dots P_t(X)\dots))$ ,  
                     fonction  $E_2$  :  $P_3(\dots P_t(X)\dots)$   
                     ...  
                     fonction  $E_t$  :  $X$  ;

10            - iii) transmission, du détenteur présumé au vérificateur, d'une deuxième donnée ( $y_i$ ) calculée selon la fonction désignée  $E_i$  à l'étape précédente pour le cas de la variable  $X = r$  ou d'un nombre correspondant de valeurs  $y_i$ , chacune étant obtenue à partir d'une  
 15 fonction désignée respective ; et

- iv) vérification, par le vérificateur, que la condition  $S_i(y_i) = x$  est satisfaite pour chacune des valeurs correspondantes.

De préférence, on répète la séquence d'étapes i) à iv) au moins une fois, une fonction  $E_i$  étant désignée  
 20 arbitrairement à chaque répétition de séquence.

Avantageusement, tous les polynômes ( $P(X)$ ,  $Q(X)$ ,  $S(X)$ ;  $S_i(X)$ ,  $E_i(X)$ ) sont définis modulo  $n$ , où  $n$  est un nombre composé difficilement factorisable.

25            La donnée confidentielle peut être constituée d'un polynôme  $P(X)$  d'ordre 2 (deux) ou supérieur..

Le deuxième polynôme ( $Q(X)$ ) peut être un polynôme d'ordre 2 (deux) ou supérieur.

Selon un deuxième aspect, l'invention concerne un  
 30 dispositif de vérification spécifiquement adapté pour réaliser le procédé selon le premier objet.

Selon un troisième aspect, l'invention concerne un dispositif détenteur d'au moins une donnée confidentielle spécifiquement adapté pour réaliser le

procédé selon le premier aspect, ce dispositif pouvant être une carte à puce.

L'invention et les avantages qui en découlent seront mieux compris par la description qui suit des modes de réalisation préférés, donnés purement à titre d'exemple non-limitatif, par référence aux dessins en annexe, dans lesquels :

- la figure 1, déjà décrite, est un schéma général simplifié d'un ensemble constitué d'un système de sécurisation et d'un détenteur présumé, avec échange de données de vérification de secret ;

- la figure 2 est un organigramme du déroulement d'un procédé de vérification entre un terminal et une carte selon un protocole de à divulgation nulle conforme à un premier mode de réalisation de l'invention ; et

- la figure 3 est un organigramme du déroulement d'un procédé de vérification entre un terminal et une carte selon un protocole de à divulgation nulle conforme à un second mode de réalisation de l'invention.

La sécurité du protocole de vérification à divulgation nulle selon l'invention repose sur le problème suivant. Soient deux polynômes  $P(X)$  et  $Q(X)$ , on peut facilement calculer le polynôme composé  $S(X) = Q(P(X))$ . Mais, étant donnés  $Q(X)$  et  $S(X)$ , il est difficile trouver  $P(X)$ . Dans ce qui suit, tous les calculs sont réalisés en arithmétique modulo  $n$ , où  $n$  est un nombre composé. A titre d'exemple, le nombre  $n$  peut être le produit de deux nombres premiers  $p$  et  $q$ , soit  $n=p.q$ . Le secret, dont la connaissance est à prouver par le détenteur, est le polynôme  $P(X)$ .

Dans ce qui suit, on désigne par  $A$  le détenteur du secret  $P(X)$  (détenteur présumé), et par  $B$  le vérificateur du fait que  $A$  connaisse effectivement le

secret  $P(X)$ . "A" peut être une carte à puce 4 ou analogue, et "B" le système de sécurisation 2, pour reprendre l'exemple de la figure 1. Ainsi, conformément au protocole "à divulgation nulle", A doit  
 5 prouver à B qu'il détient le secret  $P(X)$  sans le lui révéler.

La figure 2 illustre un exemple du déroulement d'un protocole de vérification "à divulgation nulle" conforme à l'invention, appliqué à l'ensemble de la  
 10 figure 1.

Au préalable, le détenteur présumé A du secret  $P(X)$ , soit la carte 4, contient dans sa mémoire les paramètres suivants :

- un polynôme  $P(X)$ , qui constitue un paramètre  
 15 privé, soit le secret. On note que le paramètre privé qui constitue le secret est le polynôme  $P(X)$  qui est le polynôme difficile à trouver selon le problème énoncé ci-dessus,

- une fonction polynomiale  $S(X)$  définie par :  
 20  $S(X) = Q(P(X))$ , et

- un module  $n$  difficilement factorisable, par exemple de type RSA.

La fonction  $S(X)$  s'obtient directement par calcul à partir des polynômes  $P(X)$  et  $Q(X)$ . A titre  
 25 illustratif, donné ici seulement pour comprendre ce mode de calcul, si  $Q(X) = aX^2 + bX + c$  et  $P(X) = u_1X + u_0$ , alors :

$$\begin{aligned}
 S(X) &= a(u_1X + u_0)^2 + b(u_1X + u_0) + c \\
 &= a(u_1^2X^2 + u_0^2 + 2u_1u_0X) + u_1bX + u_0b + c \\
 30 \quad &= au_1^2X^2 + (2au_1u_0 + u_1b)X + au_0^2 + u_0b + c \\
 &:= s_2X^2 + s_1X + s_0
 \end{aligned}$$

Les coefficients des polynômes  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $u_1$  et  $u_0$ , ainsi que  $s_2$ ,  $s_1$  et  $s_0$  sont des valeurs connues par la carte. Cependant, pour réduire le nombre d'arguments à



stocker, la carte peut ne pas contenir les paramètres relatifs à  $Q(X)$ , c'est-à-dire  $a$ ,  $b$  et  $c$ .

$Q(X)$  et  $P(X)$  sont des polynômes en  $X$  de degré  $p$  et  $q$ . Ils sont réduits modulo  $n$ , c'est-à-dire que  
5 leurs coefficients sont réduits modulo  $n$ . A titre d'exemple,

pour  $P(X) = \sum_{i=0}^p a_i X^i = a_0 + a_1 X + a_2 X^2 + a_3 X^3 + \dots + a_p X^p$ ,

$$\begin{aligned} P(X) \bmod n &= (\sum_{i=0}^p a_i X^i) \bmod n \\ 10 \quad &= \sum_{i=0}^p (a_i \bmod n) X^i. \end{aligned}$$

De son côté, le système B de vérification (vérificateur) de la connaissance du secret, soit le terminal 2, contient dans sa mémoire les mêmes paramètres que ceux stockés par la carte, hormis le  
15 secret  $P(X)$ , à savoir :  $Q(X)$ ,  $S(X) = Q(P(X))$  et  $n$ .

En début de protocole, il s'opère un échange de signaux entre le terminal 2 et la carte 4 pour établir l'initialisation du processus (étape E2). Durant cette phase, une série de routines est installée pour fixer  
20 les conditions de vérification.

Le processus de vérification "à divulgation nulle" débute alors par le tirage d'un nombre aléatoire  $r$  au niveau de la carte 4 (étape E4). Ce nombre  $r$  est produit par des algorithmes quelconques. A partir de  
25 ce nombre  $r$ , la carte calcule une valeur  $x$  donnée par la fonction  $S(X) \bmod n$ , pour  $X = r$ , soit  $x = Q(P(r)) \bmod n$ . La carte envoie cette valeur de  $x$  au terminal 2 (étape E8), où elle  $y$  est réceptionnée (étape E10).

Ensuite, le terminal produit un bit  $b$  dit  
30 d'interrogation ou d'invitation de preuve (étape E12). Dans l'exemple, les probabilités de  $b = 1$  et  $b = 0$  sont égales. Ce bit  $b$  est transmis à la carte (étape E14), où elle constitue la partie "question" selon l'aspect question-réponse du protocole à divulgation nulle.

La carte réceptionne le bit  $b$  (étape E16) et produit en réponse une valeur  $y$  en fonction de la valeur de ce bit, comme suit (étape E18):

- si  $b = 0$ ,  $y = r$  ;
- 5        - si  $b = 1$ ,  $y = P(r)$ , c'est-à-dire la valeur rendue par le polynôme secret  $P(X)$  pour  $X = r$ .

Ensuite, la carte 4 envoie la valeur  $y$  au terminal 2 (étape E20), où elle est  $y$  réceptionnée (étape E22). La valeur de  $b$  conditionne la nature de la vérification effectuée par le terminal 2, comme suit (étape E24) :

- si  $b = 0$ , le terminal vérifie que  $S(y) = Q(P(y)) = x$  ;
  - si  $b = 1$ , le terminal vérifie que  $Q(y) = x$ . Les
- 15 étapes précédentes impliquées dans les trois séries d'échanges, en commençant par l'étape E4 de génération d'un nombre aléatoire, doivent être itérées plusieurs fois afin de garantir un degré de confiance suffisant, chaque nouvelle itération permettant de se rapprocher
- 20 du niveau de confiance souhaité.

En revanche, il suffit qu'une seule instance de la vérification à l'étape E24 soit non satisfaite pour permettre de constater que la carte 2 ne détient pas le secret  $P(X)$ . Dans le cas d'un tel constat, le terminal

25 initie une routine d'interruption de la procédure de vérification pour cause d'échec, et déclenche une alerte adaptée aux circonstances (étape E26).

Lorsque la condition à vérifier satisfaite à l'étape E24, la procédure entame une itération du processus à partir de l'étape E4 afin de pouvoir

30 renforcer le degré de confiance.

Le protocole de vérification conforme à l'invention est très sûr, permettant d'obtenir des degrés de confiance  $C$  arbitrairement proches de 1. En

35 effet, à supposer que les polynômes  $P(X)$  et  $Q(X)$  soient

bien choisis, pour  $S(X) = Q(P(X))$  donné modulo  $n$ , le problème de retrouver  $P(X)$  à partir de  $S(X)$  et de  $Q(X)$  est supposé difficile.

Il n'existe pas de règles générales de sélection  
5 des polynômes  $P(X)$  et  $Q(X)$ . On choisira de manière empirique des polynômes qui soient suffisamment complexes pour ne pas permettre de déduire aisément la valeur du secret. Avantageusement, au moins l'un de ces polynômes doit être de degré 2 ou supérieur.

10 L'utilisation du modulus  $n$  pour exprimer  $x$  implique que tous les coefficients des polynômes doivent être réduits par ce modulus, ce qui renforce la difficulté du problème de trouver  $P(X)$  à partir de  $Q(P(X))$  et de  $S(X)$ .

15 A titre indicatif, d'excellents résultats sont obtenus en termes de sécurité et de consommation de ressources avec le choix suivant de polynômes :

$P(X) = u_2X^2 + u_1X + u_0$ , et  $Q(X) = aX^2 + bX + c$   
 $S(X) = c_4X^4 + c_3X^3 + c_2X^2 + c_1X + c_0$ , où les coefficients  
20  $a, b, c$  et  $c_4, c_3, c_2, c_1$  et  $c_0$  sont connus.

Le problème de trouver  $P(X)$  à partir de  $Q(X)$  et de  $S(X)$  est alors équivalent à déterminer une racine carrée en modulo  $n$ .

Il sera maintenant décrit une généralisation du  
25 mode de réalisation selon laquelle on utilise un nombre arbitraire  $t$  de clés privées. Cette disposition permet notamment de réduire le nombre d'échanges entre le fournisseur (terminal 2) et le détenteur présumé (carte 4), notamment en s'affranchissant des itérations  
30 précitées, ou tout au moins en réduisant leur nombre. L'approche consiste à utiliser dans le processus de vérification plusieurs clés publiques et un nombre correspondant de clés privées, stockées respectivement au niveau du terminal 2 et de la carte 4. Cette  
35 approche s'inscrit dans un cadre général de mise en

oeuvre, avec utilisation d'un nombre  $t$  de clés privés  $P_1(X)$ ,  $P_2(X)$ ,  $P_3(X)$ , ...,  $P_t(X)$  associées à  $t$  clés publiques respectives, celles-ci étant :

$$S_1(X) = Q(P_1(X)),$$

$$5 \quad S_2(X) = Q(P_1(P_2(X))),$$

$$S_3(X) = Q(P_1(P_2(P_3(X))))$$

...

$$S_t(X) = Q(P_1(P_2(P_3(\dots P_t(X)))).$$

Dans ce qui suit, tous les polynômes sont réduits  
10 modulo  $n$ , comme dans le cas précédent ; ce fait ne sera pas répété systématiquement par souci de concision.

Lors d'une vérification, le terminal 2 et la carte 4 entament un processus d'échange de données préliminaires pour l'initialisation du protocole (étape  
15 E2), à l'instar du mode de réalisation de la figure 2.

Ensuite, la carte 4 produit un nombre aléatoire  $r$  (étape E4), calcule à partir de ce nombre une valeur  $x = Q(P_1(P_2(P_3(\dots(P_t(r))))))$  (étape E30), et la transmet au terminal 2 (étape E32).

20 En réponse, le terminal produit un nombre aléatoire  $b$  dans un domaine d'équiprobabilité 0 à  $t$  compris (étape E34) et le transmet à la carte 4 (étape E36).

En fonction du nombre  $b$ , la carte calcule la  
25 valeur  $y_i$ , sélectionnée selon la valeur de  $b$ , (étape E38).

Plus particulièrement, la valeur  $y_i$  est déterminée comme suit :

$$\text{si } b = 0, y_0 = P_1(P_2(P_3(\dots(P_t(r))))),$$

$$30 \quad \text{si } b = 1, y_1 = P_2(P_3(\dots(P_t(r)))),$$

$$\text{si } b = 2, y_2 = P_3(\dots(P_t(r))),$$

...

$$\text{si } b = t, y = r.$$

On remarque que les réponses  $y_i$  de la carte en fonction de la valeur de  $b$  envoyé par le terminal sont basées sur les clés publiques

$S_1(X), S_2(X), S_3(X), S_4(X), \dots, S_t(X)$

5 La valeur  $y_i$  requise ainsi calculée est transmise au terminal (étape E40).

A la réception de cette valeur  $y_i$ , le terminal procède à une vérification en fonction de la valeur de  $b$  (étape E42) :

10 si  $b = 0$ , vérification de la condition  $Q(y_0) = x$   
si  $b = 1$ , vérification de la condition  $S_1(y_1) = x$   
si  $b = 2$ , vérification de la condition  $S_2(y_2) = x$

...

...

15 si  $b = t$ , vérification de la condition  $S_t(y_t) = x$

Si la condition à vérifier à l'étape E42 est satisfaite, on peut supposer (étape E44) avec un certain degré de confiance que le détenteur présumé a prouvé qu'il détient le secret. Dans le cas contraire,  
20 on suppose que la preuve demandée n'a pas été fournie pour des raisons suspectes, et la communication avec la carte 4 est interrompue, éventuellement accompagné d'une procédure d'alerte.

Si le nombre  $t$  de clés utilisées dans la  
25 procédure ne permet pas d'obtenir un degré de confiance suffisant, il est bien entendu envisageable de réaliser une ou plusieurs itérations à partir de l'étape E4.

Selon une variante du mode de réalisation de la figure 3, le terminal 2 transmet à l'étape E36 non pas  
30 une, mais plusieurs valeurs de  $b$ , chacune choisie de manière aléatoire.

La carte 4 calcule alors à l'étape E38 une valeur  $y_i$  en fonction de chacune des valeurs de  $b$  reçues, sur les mêmes bases que pour le calcul de  $y_i$  décrit par  
35 référence à la figure 3, et les transmet au terminal.

Le terminal analyse chacune des valeurs  $y_i$  ainsi reçues pour déterminer si elles satisfont les conditions énoncées supra dans le cadre de l'étape E42.

On comprendra que cette variante permet à la  
5 carte de détenir plusieurs secrets. Le terminal peut alors vérifier la connaissance de ces secrets en une seule série d'opérations, par exemple, lors d'une vérification simultanée de plusieurs mots de passe ou de codes d'authentification.

10 L'invention n'est pas limitée aux cartes ou à des dispositifs portatifs, trouvant application dans tout système de communication faisant appel à une identification confidentiel : vérification de mot passe entre un utilisateur et son ordinateur, son véhicule,  
15 matériel professionnel, téléphone mobile, ou autre équipement personnalisé, etc.

**REVENDECATIONS**

1. Procédé de vérification, par un vérificateur (B,2), de la détention d'au moins une donnée confidentielle ( $P(X)$ ;  $P_1(X)$ ...  $P_t(X)$ ) par un détenteur présumé (A,4)), sans communication par ce dernier de la  
5 donnée confidentielle, conformément à un processus dit de "à divulgation nulle",

caractérisé en ce que l'on utilise pour la donnée confidentielle au moins un premier polynôme ( $P(X)$ ), le détenteur présumé (A,4)) transmettant au vérificateur  
10 (B,2) des données ( $x, y; y_i$ ) calculées en utilisant ce polynôme, la vérification étant établie sur la base d'une analyse de ces données mettant en œuvre au moins un deuxième polynôme  $Q(X)$  et d'un polynôme composé  $S(X) = Q(P(X))$ , celui-ci étant composé du premier polynôme  
15  $P(X)$  et du deuxième polynôme  $Q(X)$ .

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que, à partir :

- dudit premier polynôme, soit  $P(X)$  d'une  
20 variable  $X$ , et
- dudit deuxième polynôme, soit  $Q(X)$  de la variable  $X$ ,

on définit un troisième polynôme composé  $S(X) = Q(P(X))$ ,

25 et en ce qu'il met en œuvre au moins une séquence comprenant les étapes de :

- a) transmission, du détenteur présumé (A,4) au vérificateur (B,2), d'une première donnée ( $x$ ) obtenue à partir dudit troisième polynôme  $S(X)$  pour le cas de la  
30 variable  $X = r$ , soit  $Q(P(r))$ , où  $r$  est un nombre choisi arbitrairement par le détenteur présumé ;

b) transmission en réponse, du vérificateur (B,2) au détenteur présumé, d'une valeur d'invitation de preuve (b),

5 c) transmission, du détenteur présumé au vérificateur, d'une deuxième donnée (y) calculée selon  $y = r$  si la valeur d'invitation de preuve b correspond à une première valeur et selon  $y = P(r)$  si la valeur d'invitation de preuve correspond à une seconde valeur, et

10 d) vérification, par le vérificateur, que la condition  $S(y) = x$  est satisfaite si la valeur d'invitation de preuve correspond à la première valeur, et que la condition  $Q(y) = x$  est satisfaite si la valeur d'invitation de preuve correspond à la seconde  
15 valeur, une vérification positive à l'étape d) accroissant le degré de confiance en la détention effective de la donnée secrète  $P(X)$  par le détenteur présumé (A,4).

20 3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il est mis en œuvre pour une vérification portant sur une pluralité  $t$  de données confidentielles indépendantes, chacune définie par un premier polynôme respectif, caractérisé en ce que, à partir :

25 - desdits premiers polynômes respectifs, soit  $P_1(X)$ ,  $P_2(X)$ ,  $P_3(X)$ , ...,  $P_t(X)$  d'une variable  $X$ , et

- dudit deuxième polynôme, soit  $Q(X)$  de la variable  $X$ ,

on définit un troisième ensemble de fonctions  
30  $S_i(X)$  pour  $i = 0$  à  $t$ , soit :  $S_0 = Q(X)$ ,  $S_1(X) = Q(P_1(X))$ ,  $S_2(X) = Q(P_1(P_2(X)))$ ,  $S_3(X) = Q(P_1(P_2(P_3(X))))$ ,  
...  $S_t(X) = Q(P_1(P_2(P_3(...P_t(X))))$ ,

et ce que l'on met en œuvre au moins une séquence comprenant les étapes de :



- i) transmission, du détenteur présumé (A,4) au vérificateur (B,2), d'une première donnée (x) obtenue à partir de la fonction  $S_t(X)$  pour le cas de la variable  $X = r$ , soit  $x = Q(P_1(P_2(P_3(\dots P_t(r))))$ , où  $r$  est une valeur aléatoire générée au niveau du détenteur présumé (B,4) ;

- ii) transmission, du vérificateur au détenteur, présumé d'une désignation arbitraire ou pas d'une ou plusieurs fonction(s) parmi un ensemble de fonctions  $E_i$  de variable  $X$ , soit :

fonction  $E_0 : P_1(P_2(P_3(\dots(P_t(X))\dots))$ ,

fonction  $E_1 : P_2(P_3(\dots P_t(X)\dots))$ ,

fonction  $E_2 : P_3(\dots P_t(X)\dots)$

...

fonction  $E_t : X$  ;

- iii) transmission, du détenteur présumé au vérificateur, d'une deuxième donnée ( $y_i$ ) calculée selon la fonction désignée  $E_i$  à l'étape précédente pour le cas de la variable  $X = r$  ou d'un nombre correspondant de valeurs  $y_i$ , chacune étant obtenue à partir d'une fonction désignée respective ; et

- iv) vérification, par le vérificateur, que la condition  $S_i(y_i) = x$  est satisfaite pour chacune desdites valeurs correspondantes.

4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que ladite séquence d'étapes i) à iv) est répétée au moins une fois, une fonction  $E_i$  étant désignée arbitrairement à chaque répétition de séquence.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que tous les polynômes ( $P(X)$ ,  $Q(X)$ ,  $S(X)$ ;  $S_i(X)$ ,  $E_i(X)$ ) sont définis

modulo  $n$ , où  $n$  est un nombre composé difficilement factorisable.

5        6.        Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que la donnée confidentielle est constituée d'un polynôme  $P(X)$  d'ordre 2 (deux) ou supérieur.

10       7.        Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que ledit deuxième polynôme ( $Q(X)$ ) et un polynôme d'ordre 2 (deux) ou supérieur.

15       8.        Dispositif de vérification (B,2) permettant de vérifier la détention d'au moins une donnée confidentielle ( $P(X)$ ,  $P_1(X)$ , ...,  $P_t(X)$ ) par un détenteur présumé (A,4), sans communication par ce dernier de la donnée confidentielle, conformément à un processus dit de « divulgation nulle »

20       caractérisé en ce qu'il est prévu pour réaliser le procédé de vérification selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, le dispositif (B,2) comportant :

      - des moyens de réception desdites données ( $x$ ,  $y$ ,  $y_1$ ) calculées par le détenteur présumé (A,4),  
25       - des moyens de stockage dudit polynôme composé  $S(X) = Q(P(X))$ , et

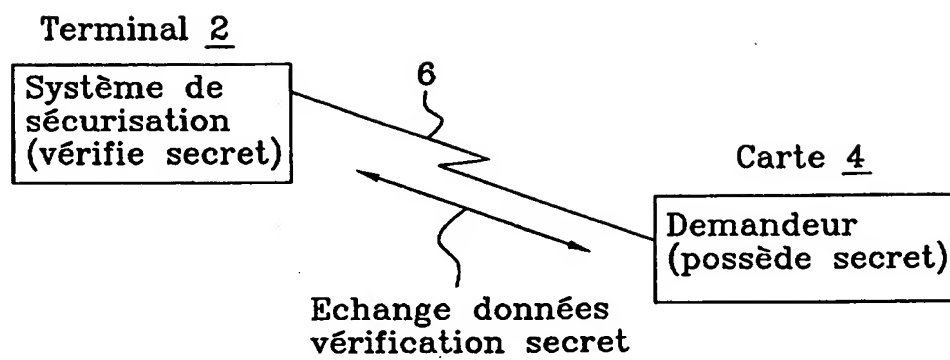
      - des moyens d'analyse desdites données reçues mettant en oeuvre ledit polynôme composé ( $S(X) = Q(P(X))$ ).

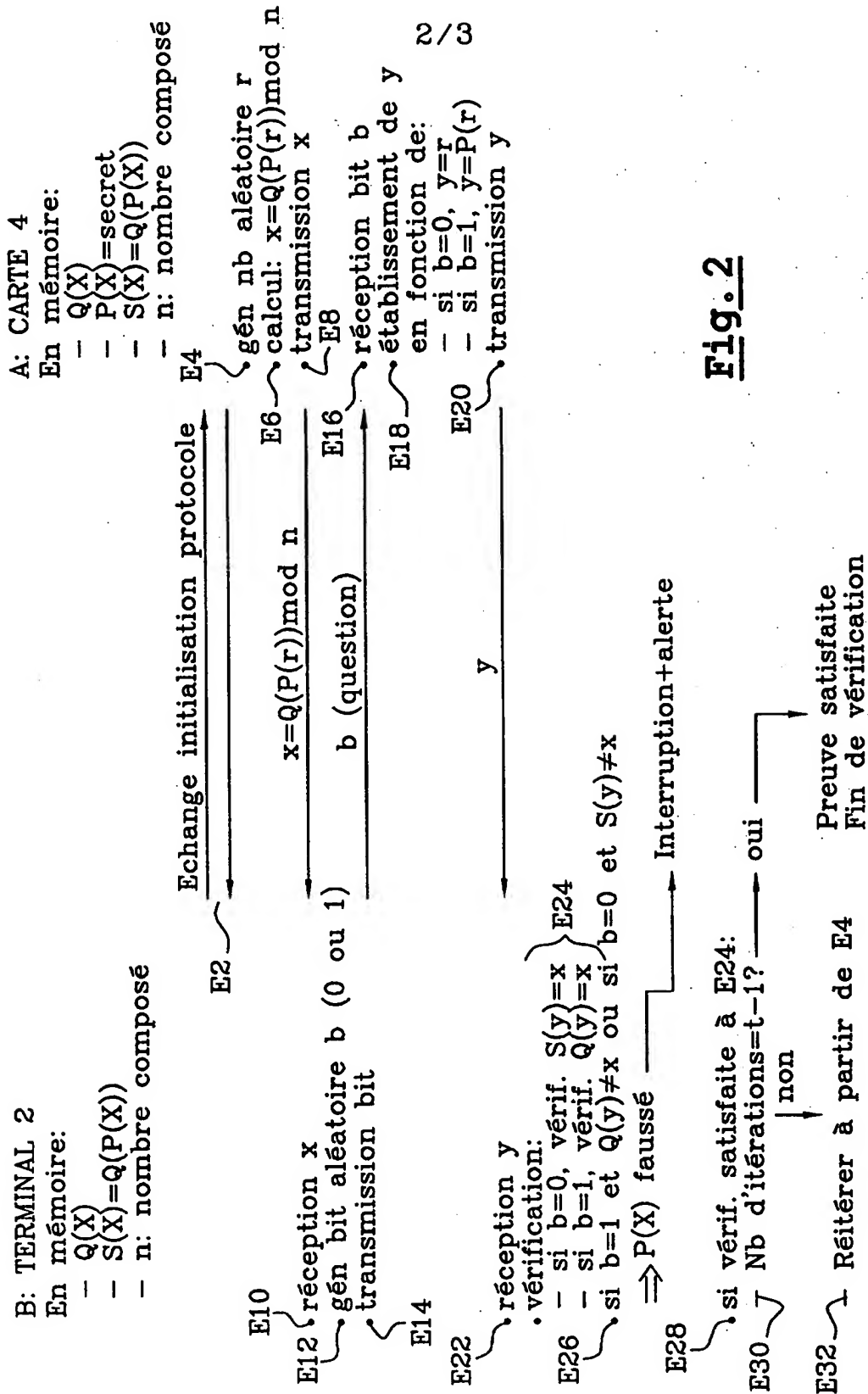
30       9.        Dispositif (A,4) détenteur d'au moins une donnée confidentielle sujette à une vérification par un vérificateur (B,2) sans qu'elle soit communiquée à ce dernier, conformément à un processus dit de  
35       « divulgation nulle »,

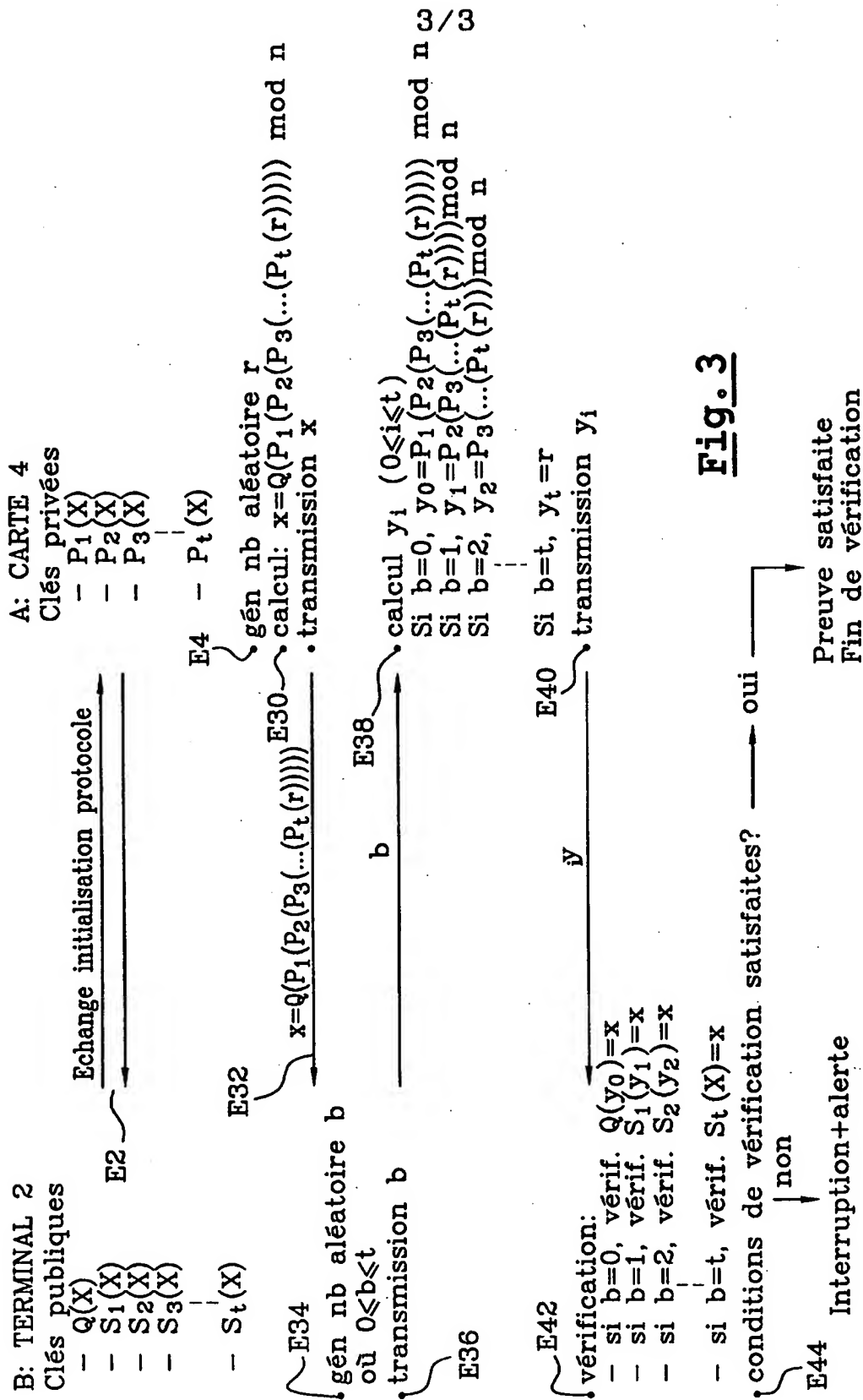
caractérisé en ce qu'il est prévu pour réaliser le procédé de vérification selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, le dispositif (A,4) comportant :

- des moyens de stockage dudit premier polynôme
- 5 P(X), et
- des moyens de calcul mettant en oeuvre ledit premier polynôme pour produire lesdites données calculées (x, y,  $y_1$ ), et
  - des moyens de transmission desdites données
- 10 calculées au vérificateur (B,2).

10. Dispositif selon la revendication 9, caractérisé en ce qu'il s'agit d'une carte à puce (4).

**Fig. 1**

**Fig. 2**





2830147

# **RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE**

établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement  
national

FA 615075  
FR 0112275

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	FIAT A ET AL: "HOW TO PROVE YOURSELF: PRACTICAL SOLUTIONS TO IDENTIFICATION AND SIGNATURE PROBLEMS" ADVANCES IN CRYPTOLOGY. SANTA BARBARA, AUG. 11 - 15, 1986, PROCEEDINGS OF THE CONFERENCE ON THEORY AND APPLICATIONS OF CRYPTOGRAPHIC TECHNIQUES (CRYPTO), BERLIN, SPRINGER, DE, vol. CONF. 6, 1986, pages 186-194, XP000090668 * page 187, ligne 3 - page 188, ligne 35 *	1,8,9	H04L9/32
A	NAOR M, PINKAS B: "Oblivious transfer and polynomial evaluation" PROCEEDINGS OF STOC 99: 31ST ANNUAL SYMPOSIUM ON THEORY OF COMPUTING, mai 1999 (1999-05), pages 245-254, XP002206822 * page 250, colonne de gauche, ligne 31 - page 251, colonne de gauche, ligne 32 *	1,8,9	<p>DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7)</p> <p>H04L</p>
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
19 juillet 2002		Dujardin, C	
<p><b>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</b></p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons &amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>			